Année 1975 N° 122

UNIVERSITE PARIS VI

FACULTE DE MEDECINE PITIE-SALPETRIERE

THESE

POUR LE

DOCTORAT EN MEDECINE

(Diplôme d'Etat)

PAR

Jean Pierre, Camille MERLIN

Né le 7 Février 1947 à PARIS XVIe

Presentée et soutenue publiquement le 1975

LES TECHNIQUES NUCLEAIRES DANS LA PRODUCTION ALIMENTAIRE

Président : Monsieur SAPIN JALOUSTRE, Professeur

Editions de l'A.G.E.M.P.
8, Rue Dante - PARIS Ve

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548103_0027

Année 1975 N°

UNIVERSITE PARIS VI

FACULTE DE MEDECINE PITIE - SALPETRIERE

THESE

POUR LE

DOCTORAT EN MEDECINE

(Diplôme d'Etat)

PAR

Jean Pierre, Camille MERLIN

Né le 7 Février 1947 à PARIS XVIe

Presentée et soutenue publiquement le 1975

LES TECHNIQUES NUCLEAIRES

DANS LA PRODUCTION ALIMENTAIRE

Président : Monsieur SAPIN JALOUSTRE, Professeur

Editions de l'A.G.E.M.P.

8, Rue Dante - PARIS Ve

A ma femme

A mes parents

Qu'ils trouvent ici le symbole de ma reconnaissance

et de mon affection.

A tous les membres de ma famille,

A tous mes amis

Aux Docteur BABLED, BARTHELEMY, DELAROCHE, GALLICE, HAMEL

En témoignage de notre reconnaissance et amitiés.

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

A notre Maître et Président de Thèse,

Monsieur le Professeur SAPIN-JALOUSTRE

Que cette thèse dont il a bien voulu accepter la présidence soit un modeste témoignage de notre admiration et de notre reconnaissance.

PLAN DE CETTE ETUDE

TRODUCTION

- PREMIERE PARTIE - LES RAYONNEMENTS AU SERVICE DE LA PRODUCTION ALIMENTAIRE

I - MUTAGENESE ARTIFICIELLE

- Mutations provoquées en sélection végétale,
- Quelques exemples de mutants intéressants,
- Comment augmenter les chances de réussites des mutations,
- Mutations chez les plantes cultivées,
- Programme international des mutations du riz,
- Perspectives et objectifs de la sélection par mutations.

II - LUTTE CONTRE LES INSECTES

- La technique de la stérilisation du mâle,
- Insectes vulnérables,
- Conditions du succès.

III - VACCINS ANIMAUX ATTENUES PAR IRRADIATIONS

- Vaccins dispibles et non encore autorisés,
- Préparation du vaccin.

IV - ALIMENTS IRRADIES

- La comestibilité,
- Régulation des phénomènes métaboliques
- Destruction des insectes
- Destruction des organismes pathogènes (radicidation)
- Destruction des agents de l'altération microbienne (radurisation et radappertisation)
- Aspects économiques de l'irradiation des denrées alimentaires

DEUXIEME PARTIE : LES ISOTOPES DANS LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

I - LES PLANTES ET LE SOL

- L'absorption des engrais par les céréales,
- Autres études sur les engrais
- Les éléments nutritifs à l'intérieur du sol
- Ce qui se passe à l'intérieur de la plante.

II - LES ISOTOPES ET LA RECHERCHE SUR LES ANIMAUX

- Les éléments minéraux et la santé animale
- Adaptation à des environnements nouveaux.

III - PROTECTIONS DES DENREES ALIMENTAIRES

- Détection des produits chimiques toxiques
- Etudes du métabolisme des pesticides
- Les produits de fission présents dans les produits alimentaires.

TROISIEME PARTIE : LES TECHNIQUES NUCLEAIRES ET L'IRRIGATION

I - COMMENT UTILISER AU MIEUX L'EAU DISPONIBLE

- Etude de la circulation des eaux souterraines
- L'humidité dans les sols.

II - L'AVENIR DU DESSALEMENT NUCLEAIRE

- Perspective d'avenir : usines à double fins

CLUSIONS

INTRODUCTION

Les rayonnements atomiques ont des effets biologiques dangereux pour 'homme et ce sont précisément ces effets qui peuvent être exploités au profit de la roduction alimentaire et de l'agriculture. Les rayonnements ionisants pénétrants euvent être dirigés contre les organismes qui menacent les disparitions ali- entaires de l'homme; les insectes qui s'attaquent au bétail, aux cultures sur pied u aux denrées emmagasinées, les parasites qui infestent les animaux d'élevage et les actéries qui altèrent les aliments avant qu'ils puissent être consommés. L'aptitude es rayonnements à modifier le matériel génétique des cellules reproductrices, et à rovoquer ainsi des mutations, a déjà permis d'obtenir des plantes améliorées que 'on cultive aujourd'hui dans bien des pays. Lorsqu'on les utilise comme traceurs our révéler les migrations et les transformations chimiques de produits tels que les ngrais et les pesticides, les atomes radioactifs peuvent accélérer maints types e recherches.

Au delà des possibilités du présent, on a la perspective si tentant de pou- oir peut être transformer radicalement grâce à l'emploi en grand de l'énergie ucléaire, la situation de l'agriculture dans les zones arides en dessaler l'eau de er pour l'irrigation.

A la fin du présent exposé on trouvera également la description d'au- res applications, moins spectaculaires, mais déjà bien précieuses, des rayonnements t des substances radioactives aux études sur l'irrigation.

Les techniques nucléaires c'est-à-dire celles qui utilisent iso-
ement ou ensemble l'irradiation et les traceurs radioactifs, n'apportent pas de solution
agique aux problèmes complexes de la prévention des famines et de l'édification d'une
le meilleure pour le monde entier grâce à une agriculture plus efficiente. Mais il
erait dangereux que ces techniques demeurent inconnues ou inemployées. Si elles ne
euvent généralement pas remplacer les techniques existantes, il faut les ajouter aux
éthodes déjà utilisées suivant les circonstances et les besoins particuliers.

oOo

A - LES RAYONNEMENTS AU SERVICE DE LA PRODUCTION ALIMENTAIRE

Divers procédés permettent de produire des rayonnements ionisants capables de pénétrer dans les tissus animaux et végétaux : tubes à rayons X, rayons gamma émis, par les sources radioactives et neutrons émis par les réacteurs nucléaires. Le premier paragraphe décrit plusieurs modalités des effets chez les êtres vivants des rayonnements pénétrants qui peuvent être utiles au cultivateur et à l'industrie alimentaire. Les sélectionneurs exploitent les modifications des caractères héréditaires chez les plantes issues de semences irradiées. La stérilisation des animaux permet d'éliminer les insectes nuisibles. Le pouvoir meurtrier des rayonnements peut être utilisé pour la production de vaccins-animaux, atténués par irradiation, contre les organismes qui infestent ou altèrent les produits alimentaires.

- MUTAGENESE ARTIFICIELLE

- Mutations provoquées en sélection végétale

L'irradiation modifie les caractères héréditaires en modifiant le matériel génétique de la plante. Comme le code génétique complexe tient sous sa dépendance tous les caractères morphologiques et physiologiques d'une plante, les modifications qu'il subira entraînerait des différences dans la plante. La modification ou mutation provoquée par l'irradiation est presque toujours nuisible mais parfois elle se traduira par un avantage.

Ainsi le sélectionneur peut-il jouer sur deux tableaux :

- celui de la sélection naturelle : chez tout être vivant tous les caractères génétiques résultent de mutations et de leurs recombinaisons pendant la longue histoire de la vie sur terre. Ainsi de nouvelles mutations naturelles spontanées aux effets bénéfiques peuvent-elles être quelquefois exploitées.

- celui de la sélection artificielle : si les mutations peuvent être si utiles; pourquoi attendre qu'elles se produisent par hasard ?

- Quelques exemples de mutants intéressants :

Il y a peu de spectacle plus triste pour un agriculteur que de voir une récolte perdue du fait de la verse, c'est-à-dire une récolte qui a été couchée au sol par un vent violent ou de grosses pluies. La résistance à la verse, souvent associée à un chaume plus court, est un caractère fréquemment recherché et trouvé parmi les mutants. Parmi les variétés classiques obtenues par mutation provoquée figure l'orge Pallas, la variété de riz Mei japonais.

La précocité est également un caractère très apprécié dans la sélection par mutation car elle permet d'obtenir plusieurs récoltes par an. La mutation japonaise de soja Raiden non seulement parvient à maturité 25 jours plus tôt que la variété Nemas Hirazu dont elle provient mais encore elle donne des rendements égaux et résiste mieux à la verse.

La résistance à la maladie semble devoir également être une autre qualité obtenue par mutation, observation de mutants d'orge résistants au mildiou. La possibilité d'augmenter par mutation la teneur en protéine ou le niveau d'un acide aminé telle la lysine dans une plante cultivée est une perspective à l'étude.

- Comment augmenter les chances de réussite des mutations.

L'action des rayons X et des rayons gamma présente des analogies très prononcées mais le spectre des mutations qui leur sont dues est assez différent de celui des mutations engendrées par les neutrons.

C'est ainsi qu'une certaine modification génétique qui agit sur la hauteur des plantes est obtenue plus fréquemment sous l'action des rayons gamma que sous celle des neutrons. En revanche les neutrons ont plus d'efficacité que les rayons X ou gamma pour provoquer la cassure des chromosomes qui se reconstituent avec des dispositions nouvelles, ce qui se traduit par le sélectionneur par une redistribution nette des caractères antérieurement associés.

Plus la dose de rayonnements sera forte, plus grand sera le nombre de mutations. Toutefois au delà d'une certaine dose les plantes tuées ou rendues stériles par les lésions consécutives à l'irradiation seront si nombreuses que la proportion dans la descendance des mutants survivants diminuera. Les doses optima variant avec les espèces et les variétés. Complexité du problème donc. Les lésions provoquées par l'irradiation sont fonction de nombreux facteurs, en agissant sur ceux-ci il est possible d'obtenir plus de mutations, moins de lésions, augmentant ainsi la proportion de mutants viables.

- Mutations chez les plantes cultivées

Le sélectionneur peut décider de recourir aux mutations artificielles pour l'une quelconque des raisons suivantes :

1 - La mutation est l'unique chance : si le caractère recherché n'existe chez aucune variété naturelle dans la collection mondiale de l'espèce cultivée en cause, une mutation provoquée le fera peut être apparaître C'est ainsi que chaque plante vit entre certaines limites géographiques liées à la longueur du jour et à la température. Si l'espèce n'a jamais existé en dehors de ces limites, les caractères appropriés à d'autres milieux seraient superflues. Pour introduire l'espèce dans des régions nouvelles, on peut donc avoir à élargir les limitations génétiques.

2 - La mutation est la meilleure chance : la sélection classique peut ne pas réussir si le caractère recherché n'existe que chez des variétés qui sont pauvres à d'autres égards, de sorte qu'on peut escompter qu'il sera associé à des gènes dont on ne veut pas. A ce titre, on peut citer l'impossibilité enregistrée récem-

ment de faire acquérir un chaume robuste et court à un blé de haute qualité en Iran. Les croisements en retour n'ont pas fourni les combinaisons de caractères désirées, probablement par suite d'une association entre les gènes régissant le chaume robuste et d'autres régissant la qualité médiocre.

3 - La mutation est la méthode la plus rapide : les sélectionneurs ont l'habitude de travailler patiemment pendant des années pour obtenir une variété nouvelle. Mais il arrive parfois qu'il faut obtenir des résultats très rapidement, par exemple pour parer aux ravages d'une maladie, et, dans ce cas, il se peut que l'emploi des mutations artificielles conduise plus vite aux résultats voulus.

- Programme international des mutations du riz :

La variabilité génétique énorme des formes naturelles du riz ouvre tellement de perspectives au sélectionneur que la recherche de mutations artificielles peut sembler superflue. La reproduction traditionnelle a permis d'obtenir ces dernières années des variétés nouvelles importantes.

Les mutants n'en figurent pas moins dans un programme de sélection du riz. Les spécifications auxquelles doit répondre le riz idéal sont si nombreuses et si strictes qu'il faudrait très longtemps pour rassembler par la sélection classique les gènes appropriés formés par la sélection classique.

- Perspectives et objectifs de la sélection par mutation :

Les techniques de la sélection par mutations artificielles s'amélioreront certainement à l'avenir. On peut au moins escompter que les études comparatives montreront comment traiter les diverses variétés et obtenir les meilleurs résultats. L'exploitation des mutations provoquées progressera sans aucun doute plus rapidement en même temps que s'amélioreront la coopération internationale et la mise en commun des connaissances.

L'intention est de rassembler les informations disponibles sur chaque espèce cultivée, les présenter suivant un type de rapport et un système de notation

normalisés et les stocker sur ordinateur. Il sera également fait appels aux ordinateurs pour la mise au point de modèles mathématiques applicables à la sélection végétale et pour les travaux annexes visant à mesurer les variations provoquées de caractères quantitatifs tels le rendement.

L'étude des effets des différentes formes de rayonnements devrait aider à perfectionner les techniques existantes. Les découvertes de la biologie moléculaire révèlent les processus détaillés de l'hérédité et de la mutation et les mécanismes par lesquels les gènes régissent le développement et la vie d'un organisme.

Ces connaissances nouvelles peuvent apporter des bases à la science plus empirique des sélectionneurs et des radiobiologistes. Il serait surprenant que ces acquisitions ne soient pas suivies d'avantages pratiques.

Les applications particulières envisagées pour les mutations dans la sélection végétale fait apparaître toute l'importance que ces phénomènes prendrait dans les prochaines décennies qui verront une transformation rapide des pratiques agricoles.

L'agriculture à grande échelle comporte le risque de voir une seule variété préférée dans l'ensemble d'une région, de sorte que de vastes superficies seront consacrées à la culture de cette variété et en seront tributaires. Dans de telles conditions, l'apparition d'une maladie grave frappant cette variété serait cause de grandes difficultés. La possibilité donnée par les mutations artificielles de modifier rapidement une variété de façon qu'elle devienne résistante à la maladie fait de ces mutations un moyen de défense contre de tels désastres. L'obtention de variétés cultivées tolérantes aux fortes concentrations de sel pourrait ouvrir à la culture d'immenses superficies actuellement inexploitées parce que le sol y est trop salé.

Dans les prochaines décennies le problème nutritionnel le plus inquiétant sera pour de nombreux pays le déficit croissant des protéines animales disponibles.

Bien des protéines végétales ont une valeur nutritionnelle inférieure aux protéines animales, du fait de leur pauvreté en certains acides aminés indispensables aux animaux et à l'homme. l'amélioration de la protéine du maïs par une mutation spontanée qui a augmenté la teneur en l'un des acides aminés, la lysine, indique un autre objectif important pour les mutations artificielles, à savoir l'amélioration systématique de la quantité et de la qualité de la protéine contenue dans nombre de plantes cultivées.

oOo

II - LUTTE CONTRE LES INSECTES

La mouche méditerranéenne des fruits a infligé d'immenses dégâts aux cultures fruitières de l'Amérique Centrale. De plus, elle continue à étendre son aire de répartition ce qui augmentera rapidement les pertes. C'est une étrange solution que de combattre ce parasite en accroissant ses effectifs. Mais on peut élever par millions au laboratoire des mouches méditerranéennes que l'on expose ensuite à l'action d'une dose de rayon gamma. Cette dose n'est pas assez forte pour les tuer mais elle suffit pour que leur accouplement avec les mouches sauvages du Nicaragua ne produise pas de jeunes vivants.

Ces mouches stériles sont placées dans des sacs en papier et lâchées par voie aérienne. Nombre de mouches tombent avec les sacs et se dispersent ensuite. Les mâles stériles recherchent les femelles sauvages. Leur comportement à l'accouplement n'est que légèrement modifié et lorsque ces femelles viennent à pondre dans les oranges, leurs oeufs ne sont pas fécondés. Il ne se développera pas de larves qui mangent le fruit et l'aliment pour se frayer un passage,il n'apparaîtra pas de jeunes mouches capables de reproduire les mêmes dégâts.

Des lâchers de mouches méditerranéennes sont pratiqués au Costa Rica, au Nicaragua et Panama, ainsi qu'en Italie (île de Capri).

- La technique de stérilisation du mâle :

Cette technique a été employée pour éliminer Cochlimyia Hominivorax, parasite dangereux qui vit dans les blessures des animaux à sang chaud, du bétail

notamment. Après des années de recherches préparatoires, des mouches stérilisées par irradiation ont été lachées dans la mer des Antilles sur l'île de Curaçao. Après un petit nombre de cycles de reproduction, le parasite a disparu de l'île. Quelques années plus tard, la même technique l'a fait disparaître de l'Etat de Floride où les pertes de bovins avaient dépassé 20 millions de dollars par an.

Les succès remportés sur Cochliomya Hominivorax ont encouragé les entomologistes et les radiobiologistes à rechercher d'autres insectes qu'on pouvait combattre ou éliminer de la même façon. Pour cela, il faut élever en milieu artificiel des effectifs importants de l'insecte de façon que ceux-ci aient une influence notable sur les populations de l'espèce considérée dans la zone à combattre. Il s'ensuit que la population sauvage ne doit pas être trop nombreuse, bien que l'on puisse recourir aux insecticides pour la réduire.

De plus la dose d'irradiation doit être stérilisantes sans trop modifier le comportement à l'accouplement, c'est dire l'intérêt d'une bonne connaissance de l'écologie du comportement de l'insecte.

Il faut enfin savoir la difficulté qui existe à la séparation des sexes avant l'irradiation. En fait la dose utilisée pour la stérilisation effetive maximale des mâles provoque également la stérilisation de toutes les femelles facilitant ainsi la lutte contre les populations sauvage : l'accouplement des mâles sauvages avec les femelles stériles restent sans effet. Pour stériliser les insectes élevés au laboratoire, on peut remplacer l'irradiation par des agents chimiques. Les chimiostérilisants. Toutefois, le maniement de ces produits est dangereux si l'on ne prend pas de précautions de sécurité stricte. L'emploi de chimiostérilisantsqpourrait encourager l'apparition de souches résistantes à ces produits, comme on l'a observé chez les moustiques.En revanche les insectes stérilisés par irradiation ne deviennent pas radioactifs et leur manipulation ou leur lachers ne présente aucun danger.

- Insectes vulnérables :

Nom vulgaire	Nom scientifique	Hôte principal
	Cochliomya Hominivorax	Bétail
Mouche du melon	Dacus cucurbitae	Curcubitacées
Mouche méditerranéenne des fruits	Ceratitis capitata	Fruits des agrumes Fruits à noyau
Mouche mexicaine des fruits	Anastrepha ludens	Fruits des agrumes
Mouche orientale des fruits	Dacus dorsalis	Fruits des agrumes
Carpocabe	Carpocapa pauwelle	ppommes, poires
Mouche de l'olive	Dacus olea	Olives.

De plus, près de deux cents espèces d'insectes sont actuellement étudiées et on a toutes les raisons de croire que la liste des succès va rapidement s'allonger et comprendre notamment :

- le charançon de la capsule du cotonnier,
- la mouche des fruits du Queensland
- la spongieuse
- la mineure de la canne à sucre.

La mouche Tsé Tsé : un objectif à large terme, ce qui apporte de nouveaux espoirs de vaincre cette mouche en résurgence sur certains territoires d'Afrique qui en avaient été antérieurement débarrassés.

- Conditions de succès de la méthode de stérilisation du mâle :

Tout d'abord, la zone choisie pour y combattre les insectes doit avoir des limites naturelles bien définies. Si les insectes éliminés par la technique sont immédiatement remplacés par d'autres effectifs de la même espèce provenant de races limitrophes, l'opération n'aura aucun sens. Des obstacles topographiques avec déplacements des insectes tels que l'eau, un désert ou des montagnes, aident à définir une zone convenant à ce traitement.

Ensuite, il faut que la population d'insectes dans la zone cosidérée soit faible par rapport aux effectifs que l'on pouvait élever économiquement en laboratoire. Il faut donc connaître le cycle biologique de l'insecte, ses modes d'alimentation et de reproduction, son interaction avec d'autres espèces et sa sensibilité aux conditions météorologiques.

Le tableau peut se trouver modifié par d'autres aspects du comportement des insectes adultes. Il faut en particulier savoir si les adultes sont eux mêmes nuisibles pour les cultures, le bétail ou l'homme. Il pourrait être impossible de justifier leur lâcher en grands nombres, même après stérilisation.

L'autre grand secteur à considérer concerne l'alimentation et l'élevage de l'insecte considéré qui doivent être peu couteux et favorable au bon développement de l'insecte.

Dans un projet de lâchers de mâles stériles nombre de points techniques et administratifs présentent une importance particulièrement critique. Il est indispensable de surveiller la population d'insectes sauvages avant, pendant et après le traitement pour avoir des estimations des effectifs. Cette opération exige l'intervention d'entomologistes. Soulignons enfin l'importance des soins apportés à la manutention, à la prise en considération des conditions météorologiques, de l'importance du comportement des insectes au moment où ils sont lâchés.

Bien qu'il faille reconnaître ces limitations et ces difficultés pratiques de la stérilisation du mâle, cette méthode n'en présente pas moins pour la lutte contre les insectes divers avantages très précis. Tout d'abord elle évite les graves inconvénients de l'emploi des insecticides. En particulier, elle s'applique exactement à une seule espèce de parasite et n'a donc que les effets recherchés, elle est dépourvue d'effets fâcheux pour les autres insectes, les oiseaux, les mammifères et l'homme. Les cultures vivrières ne sont pes contaminées par les résidus toxiques ou nocifs. Alors que les insectes acquièrent fréquemment une résistance

aux insecticides, rien de pareil ne se produit avec la stérilisation par irradiation. Autre avantage : les insectes trouvent leur propre partenaire dans la nature même s'ils ont à franchir une certaine distance de sorte que l'efficacité de la technique n'est pas limitée aux points même des lâchers.

oOo

III - VACCINS ANIMAUX ATTENUES PAR IRRADIATION

Les maladies provoquées chez l'homme et les animaux par des vers parasites existent dans le monde entier et constituent par elles mêmes et par l'affaiblissement qu'elles entraînent un fléau particulièrement redoutable. L'emploi régulier de produits antihelminthiques chez les animaux parasités a constitué le traitement habituel mais ces produits n'éliminent pas complètement les parasites et ils ont eux mêmes une certaine toxicité. La vaccination représente une addition des plus précieuses aux moyens de défense utilisables contre les parasites. Si un animal survit à une helminthiase naturelle, il arrive qu'il présente un haut degré d'immunité contre la réinfestation, il peut alors ingérer régulièrement sans effets fâcheux des larves d'helminthes en quantités qui seraient rapidement fatales chez des animaux non immunisés. La protection naturelle ainsi réalisée est fonction de la production d'anticorps, protéines qui agissent sur le parasite en le tuant ou en le neutralisant. La production des anticorps est provoquée en premier lieu par des antigènes du parasite lui même. La vaccination a, bien entendu pour objet de faire produire des anticorps sans provoquer de maladie grave, en administrant à l'animal l'agent infectieux mort ou atténué.

Les tentatives faites pour fabriquer des vaccins actifs contre les vers parasites au moyen de matériel non vivant n'ont pas encore donné de résultats exploitables. Il semble que seul les vers vivants soient capables de produire des antigènes actifs. C'est ainsi qu'on s'est trouvé amené à considérer pour produire des anticorps l'emploi de vers parasites stérilisés par irradiation mais non tués. Dans tous les cas où l'on a obtenu des vaccins efficaces, les larves de vers atténués possèdent encore des antigènes et sont donc capables de provoquer chez l'hôte

la production d'anticorps. Dans le cas contraire, elles n'ont guère d'action et leurs effets ne sont pas graves.

- Vaccins disponibles ou non encore autorisés :

Situation des vaccins atténués par irradiation au milieu de l'année 1968.

Situation des vaccins	Parasite	Type	Hôte
En usage	Dictyocaulus vivipans	ver pulmonaire	Bovins
En usage	Dictyocaulus filaria	ver pulmonaire	Ovins
Prêt pour usage	Dukylostoma caninum	Ankylostome	Chiens
Pret pour usage	Syngamus trochealis	Nematode	volaille

- Préparation du vaccin

La fabricatin du vaccin atténué par irradiation contre les vers pulmonaires de bovins commence avec l'administration à de jeunes veaux de larves infectieuses normales. Trois semaines plus tard, les veaux commacent à rejeter dans leurs fèces des larves de deuxième génération qui sont recueillies dans des sacs et étalées sur des plateaux où les larves sont incubées pendant sept jours. A ce moment là, les larves sont parvenues à leur stade infectieux et elles ont rampé vers la surface à partir de laquelle on les entraîne par lavage. Elles sont alors nettoyées et on en fait une suspension concentrée qui est irradiée par des rayons X ou gamma à la dose de 40 kilorads. La suspension est ensuite diluée et répartie en fractions dont chacune contient environ 1200 larves.

L'une des complications de la fabrication d'un vaccin commercial est la vérification du degré d'atténuation des larves d'helminthes. On espère que des recherches sur le métabolisme des acides nucléiques chez les larves conduirait peut être à une réaction biochimique permettant d'évaluer l'atténuation. Il faut également faire des essais sur l'animal pour vérifier la viabilité, le pouvoir d'invasion, l'atténuation et la longévité des larves ainsi que leur aptitude à faire apparaître l'immunité.

Les larves de certaines espèces ne survivent pas assez longtemps dans un vaccin pour qu'on ait le temps de vérifier l'activité du vaccin, de la distribuer, et de l'employer. Il est recommandé aux vétérinaires d'utiliser le vaccin contre les vers pulmonaires dès sa réception et au maximum dans un délai de 10 jours.

oOo

IV - ALIMENTS IRRADIES

Il est intéressant de noter que l'irradiation des denrées alimentaires a été décrite comme étant la première méthode de préservation des denrées alimentaires vraiment nouvelle depuis que Nicolas APPERT a, il y a largement plus d'un siècle, inventé la conservation par mise en bouteilles.

Le pouvoir destructeur des rayonnements peut être employé contre les bactéries, les levures, les moisissures et les insectes qui détériorent les denrées destinées à l'homme, contre la germination de légumes comme les pommes de terre; contre les bactéries et autres organismes pathogènes dangereux pour la santé humaine. Toutefois,il faut choisir les doses et les techniques d'irradiation de façon à porter au maximum les effets recherchés et à réduire au minimum les effets secondaires, tels que la détérioration de la saveur, de la couleur et de la texture des produits alimentaires. L'irradiation des aliments devient d'un emploi quotidien pour des produits et des pays toujours plus nombreux.

Comme il se doit, les autorités responsables de la santé publique, ont éprouvé des hésitations pour ce qui est de la comestibilité des denrées irradiées destinées à la consommation, mais dans plusieurs, cas, elle ont donné leur agrémentation. Dans les cas où les doutes d'ordre technique et médical ont été écartés, l'irradiation des denrées alimentaires est au point pour l'exploitation à l'échelle commerciale.

Elle possède des avantages exceptionnels pour réduire les pertes de denrées et elle mérite maintenant d'être examinée sérieusement lorsque les producteurs les technologues des produits alimentaires, les entrepreneurs et les administrateurs comparent les possibilités qui s'ouvrent à eux.

- La comestibilité

Jamais les effets physiques, cliniques et médicaux de bien d'autres méthodes de préservation ou de préparation des denrées alimentaires n'ont été soumis à une étude aussi minutieuse. Les questions de comestibilité se rapportent aux modifications cliniques plutôt qu'à la radioactivité, et elles ont trait moins à la toxicité aiguë qu'à une action sur la santé à long terme et plus subtile, due soit à une altération de la qualité du produit soit à la production de traces d'agents chimiques qui pourraient engendrer des cancers ou des perturbations d'ordre génétique.

Au cours d'une série d'essais exécutés aux Etats Unis des milliers et des milliers d'animaux de laboratoire ont été nourris avec des aliments irradiés.

Des investigations complexes visant à déceler des effets défavorables ont toujours donné des résultats négatifs. L'irradiation des aliments semble dépourvues d'action sur la qualité des protéines mais les fortes doses entraînent la disparition d'une certaine quantité de vitamines. Les vitamines sont également sensibles au traitement par la chaleur et les effets de l'irradiation ne sont pas plus fâcheux.

Tous les traitements énergétiques pratiqués pour lapréservation des aliments, y compris le chauffage et la congélation ont une certaine influence sur la saveur et la texture, il en est de même des fortes doses de rayonnements. Celles-ci peuvent avoir, par exemple, un effet prononcé et défavorable sur la saveur et la texture de la viande.

En veillant avec soin aux conditions du traitement, on peut minimiser ces effets de sorte que l'anomalie de la saveur est peu prononcée et que le consommateur accepte bien le produit.

- Régulation des phénomènes métaboliques :

Des doses de rayonnements relativement faibles peuvent stopper ou ralentir les réactions naturelles de la maturation des fruits et de la des germes chez les légumes. L'inhibition de la germination des pommes de terre em-

magasinées est au point dans quatre pays et en usage commercial en U.R.S.S.

Une irradiation comprise entre 0,008 et 0,015 Mrad suffit à réduire la germination, à permettre un stockage prolongé à 10/13°C et un transport sans réfrigération. Il semble possible de réduire la germination des oignons par une irradiation à des doses qui sont inférieures de moitié ou égales à celles utilisées pour les pommes de terre. Ce traitement fait acquérir aux oignons une saveur un peu plus douce.

Des doses comprises entre 0,05 et 0,5 Mrad ont permis dans diverses expériences à petite échelle de prolonger la durée de conservation des divers fruits (tomates, oranges, pèches, abricots, avocats, groseilles), mais la technique n'a pas encore été appliquée à l'échelle de l'usine pilote.

- Destruction des insectes

Les dégâts infligés par les insectes aux grains emmagasinés, aux poissons séchés ou fumés et aux fruits et légumes séchés sont très graves dans les pays tropicaux et subtropicaux où les insectes trouvent un climat favorable. La plupart des insectes peuvent être exterminés sans difficultés spéciales par des doses relativement faibles de rayonnements (environ 0,02 Mrad). Du point de vue de la santé publique, il se peut que ce traitement soit de beaucoup préférable à l'emploi d'insecticides toxiques sur les denrées destinées à la consommation humaine. Il a été démontré il y a longtemps que, dans le cas du blé, il était possible de désinfecter les graines par irradiation. Actuellement, le procédé paraît être, du point de vue économique, celui qui convient le mieux aux grains en vrac et au silos où l'on peut stocker le grain traité sans risque de réinfestation. On pense que la désinfestation des papayes va permettre d'ouvrir un nouveau marché aux Etats Unis pour ces fruits d'Hawaï. Une dose de 75 Krad suffit pour détruire la mouche hawaïenne des fruits et ce traitement permet de prolonger la durée de conservation des papayes en retardant le phénomène de maturation.

- Destruction des organismes pathogènes (radicidation)

Les parasites animaux présents dans la viande peuvent la rendre impropre à la consommation humaine, menaçant celui qui l'ingère d'une infestation chronique par des vers ou d'une maladie mortelle.

Des parasites redoutables comme Trichinella Spiralis et Cysticercus Bovis sont facilement tués par des doses relativement faibles de rayonnements (aux alentours de 0,3 Mrads).

Malheureusement, il n'est pas possible d'inactiver les virus contenus dans les aliments à moins d'appliquer des doses si intenses qu'elles excluent en général l'emploi de l'irradiation à cette fin.

Les Salmonella, bactéries qui provoquent des intoxications graves d'origine alimentaire, sont des organismes connus, nuisibles, sensibles à l'irradiation. Des doses de 0,5 à 0,8 Mrad éliminent tout risque dû aux salmonella dans les oeufs liquides, congelés ou en poudre, des doses analogues sont efficaces sur la volaille et la viande de cheval congelée. Les autorités sanitaires deviennent de plus en plus sévères en ce qui concerne les Salmonella, et, pour certains produits, l'irradiation semble être l'unique méthode satisfaisante pour conjurer les risques.

- Destruction des agents de l'altération microbienne (radappertisation et radurisation).

L'irradiation peut viser à la destruction partielle ou totale de tous les microbes (à l'exclusion des virus). La première méthode d'approche, pasteurisation par irradiation ou radurisation, ralentit la dégradation et prolonge la durée de conservation mais pas indéfiniment. Par contre, la destruction totale des bactéries, des levures et des moisissures, quand elle est associée en c as de besoin à une action ménagère de la chaleur pour inactiver les enzymes et à un emballage capable d'empêcher une réinfection microbienne, peut assurer la stabilisation permanente du produit alimentaire. Dans ce cas, on emploie le terme de "radappertisation". Il est bien évident que la destruction totale exige des doses d'irradiation beaucoup plus fortes.

Les doses de l'ordre de 0,24 Mrad conviennent pour la radurisation de produits très variés (poissons frais, palourdes, crevettes, huitres, poulets, dindes, fraises). outefois, pour conserver les avantages de l'irradiation, il faut aussi réfrigérer les roduits.

Vers le milieu de 1969, les services de la santé publique de plusieurs ays ont autorisé l'irradiation du blé, des pommes de terre, des oignons, des fruits ecs et des secs destinés à la consommation humaine. Lorsque les techniques uront été perfectionnées et autorisées, il se peut que la raddappertisation de la viande volaille, boeuf et porc prenne une importance commerciale considérable dans les pays ndustrialisés.

- Aspects économiques de l'irradiation des denrées alimentaires :

Ainsi l'irradiation n'est appliquée actuellement qu'à une infime fraction e la production alimentaire mondiale et pour une exploitation commerciale sérieuse, il aut attendre les résultats d'essais pilotes à grande échelle, on n'a donc que fort peu 'expérience à mettre au service des planificateurs, pour ce qui est de l'économie des iverses techniques utilisables, il est vraisemblable que durant les prochaines décenies les pays en voie de développement soient les premiers à bénéficier d'une exploitation commerciale sérieuse de ce procédé. N'est-ce pas dans ces pays où les denrées alimentaires sont les moins abondantes que les pertes par infestations et altérations des roduits emmagasinés sont les plus importants ?

oOo

DEUXIEME PARTIE - LES ISOTOPES DANS LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

Dans toutes ses applications la méthode des traceurs s'appuie sur le fait que le comportement chimique de l'atome traceur est identique à celui des atomes normaux du même élément. Si l'atome traceur est radioactif, sa détection repose sur la mesure du rayonnement émis. Si l'atome traceur possède un poids atomique différent mais n'est pas radioactif, sa détection exige un appareillage plus complexe. On peut noter que les éléments radioactifs sont appelés radio isotopes alors que les autres traceurs sont des isotopes de masse.

- LES PLANTES ET LE SOL

En 1966, aux Philippines, des chercheurs ont commencé des travaux sur l'activité des racines de cocotiers. Ils ont placés dans le sol des ampoules contenant des solutions de phosphore radioactif, à différentes distances et profondeurs par rapport aux arbres - 16 ampoules réparties en un cercle régulier autour de chaque arbre. Les ampoules ont été brisées, libérant ainsi le phosphore radioactif dans le sol. Par la suite, tous les dix jours, des feuilles de chacun des arbres ont été prélevées et analysées pour déterminer la quantité de phosphore qui leur était parvenue. On s'est ainsi aperçu que la zone où l'activité des racines avait son maximum d'intensité se trouvait à proximité du tronc (1 m) et à faible profondeur (15 cm).

Différentes expériences de conception identique ont été pratiquées : cocotiers à Ceylan et aux Philippines, orangers en Espagne et à Taïwan notamment. Ces expériences ont pour objet d'assurer que les engrais aillent à l'avenir là où leur action est la plus rémunératrice.

- L'absorption des engrais par les céréales :

Dans de vastes régions, les producteurs de riz n'ont pas assez d'engrais et il est primordial de pouvoir tirer un profit maximal des petites quantités disponibles. Différentes expériences ont été pratiquées dans lesquelles du phosphore radioactif était incorporé à l'engrais phosphaté. Où placer l'engrais ? A quel moment l'appliquer ? Sous quelle forme chimique ?

Il a été possible de donner une réponse à ces différentes questions en échantillonnant la culture et en mesurant la quantité de phosphore radioactif qui avait pénétré dans les plantes. Plus cette quantité était grande et plus l'application d'engrais avait été efficace. Les expériences répétées dans des pays différents et dans des conditions de sol différentes ont toutes abouti à la même conclusion. La meilleure solution consiste à appliquer l'engrais phosphaté à la surface du sol ou à son voisinage, peut être en le faisant pénétrer un peu. Ce résultat s'explique très simplement : dans une rizière saturée d'eau, les racines rayonnent horizontalement près de la surface.

Les études sur l'absorption des engrais azotés par le riz grace à l'utilisation d'azote 15 ont permis de montrer que l'engrais azoté est habituellement perdu avant d'être absorbée par un plant de riz, parce que, dans le milieu de la rizière, il se transforme en un gaz qui est perdu pour le sol.

D'autres expériences ont été menées, consacrées à la meilleure utilisation des engrais azotés sur le maïs en prenant l'azote 15 comme traceur.

- Autres études sur les engrais :

Nombre de sols sont pauvres en phosphore de sorte qu'il est important de comparer l'assimilabilité du phosphore dans les engrais de différentes formes chimiques. Le phosphore 32 a donné aux chercheurs le moyen de déceler les différences d'assimilabilité avec une grande précision.

Sur les sols calcaires, le superphosphate s'est montré pour la plupart des cultures une excellente source de phosphore. Sur les sols acides, la métaphosphate

e calcium et le phosphate bicalcique se sont souvent montrés aussi efficace que le uperphosphate.

On emploie de nombreux engrais composés contenant plusieurs des princi- eux éléments nutritifs. Y a-t-il interaction d'un des éléments sur un autre. Des ex- ériences utilisant du phosphore 32 ont montré que l'ion ammonium avait une influence otable, sur l'absorption du phosphore par le maïs lorsque ces deux éléments étaient élangés intimement et appliqués en bande. Le phénomène inverse, influence du phosphore ur l'absorption de l'azote par les plantes a également été étudié. Aucun effet n'a été bservé.

- Les éléments nutritifs à l'intérieur du sol :

Dans un sol, l'une des réactions les plus importante est l'absorption es éléments nutritifs aux particules fines du sol (la fraction argileuse). Des élé- ents nutritifs, tels que le calcium, le potassium et le magnésium, sont retenus à la urface des particules d'argile où ils peuvent permuter entre eux ou avec d'autres élé- ents tels que l'hydrogène.

Ces phénomènes d'absorption d'échange si importants pour la croissance es plantes ont été étudiées au mieux grâce à l'emploi des isotopes radioactifs. On peut arquer par l'élément nutritif et l'introduire dans le sol qu'on échantillonne, ensuite our mesurer la radioactivité en fonction de l'emplacement de l'échantillon. Il est galement possible de placer une portion de sol sur un film pour rayons X dans la echnique appelée autoradiographie; en effet l'émission des atomes radioactifs impre- ionne le film photographique exactement comme les rayons X. Après un temps de pose pproprié, le film indique l'emplacement du matériel radioactif et fournir une repré- entation graphique de la concentration et du déplacement de l'élément nutritif en uestion.

- Ce qui se passe à l'intérieur de la plante :

Les isotopes sont devenus des outils indispensables dans tous les labo- atoires de physiologie végétale en employant les isotopes de diverses manières, ils

peuvent suivre l'absorption, la répartition et le métabolisme des produits marqués l'intérieur des tissus végétaux, grâce à leur utilisation, une théorie de l'absorption des éléments nutritifs a pu être avancée selon laquelle l'élément nutritif se lie une molécule vectrice pour former un complexe avant son absorption.

Les isotopes sont encore utilisés pour étudier, à l'intérieur des plantes, d'autres réactions et phénomènes fondementaux. Le Carbone 14 a permis d'expliquer les mécanismes biochimiques de la photosynthèse par laquelle les plantes forment leur glucides et acquièrent de l'énergie chimique sous l'influence du soleil sur les feuilles. Le phosphore 32 a aidé à élucider chez la plupart des plantes les étapes du métabolisme et des composés phosphorés qui ont une importance vitale pour la croissance des plantes. Les techniques des traceurs permettent d'étudier chez les plantes le rôle des acides aminés, des enzymes et des

oOo

II - LES ISOTOPES ET LES RECHERCHES SUR LES ANIMAUX

Des expériences sur la nutrition animale ont fait apparaître une possi-
ilité séduisante : les bosins et les ovins tirent peut être des microbes vivants dans
eur rumen toutes ou presque toutes les substances biochimique que leur organisme utilise
our édifier de la protéine. En effet, ces microorganismes sont capables de former
es acides aminés à partir de l'azote de l'urée et des sels ammonium. On peut obtenir
e protéine animale de haute qualité uniquement à partir de produits végétaux et de
omposés azotés non comestibles pour l'homme.

Dans les pays en voie de développement ou la protéine est rare, la pro-
ine est rare, la production de lait et de viande à partir de sous produits industriels
de substances inorganiques dont la synthèse est facile serait doublement avantageuse :
la fois par la protéine animale fournie et par la protéine végétale qui pourait être
étournée de l'alimentation animale et destinée à l'alimentation humaine.

Le problème pratique revient surtout à créer dans le rumen le milieu
oulu pour les micro organismes.

Les traceurs, notamment l'azote 15, le carbone 14 et le soufre 35
ouent un rôle essentiel dans l'exploration des procédés par lesquels les micro-organis-
es du rumen constituent les acides aminés utilisés pour l'animal pour la synthèse de
a protéine. Ces isotopes aident les scientifiques à résoudre nombre de problèmes chi-
iques et biologiques.

- Les éléments minéraux et la santé animale :

Nombre de maladies chez les animaux sont liées à un déséquilibre dans
'organisme des éléments minéraux, le plus souvent dans le sens de la carence.

Ainsi le fer, métal essentiel de l'hémoglobine sanguine, parcourt normalement dans l'organisme un cycle quasi fermé, de sorte qu'il suffit d'un apport alimentaire faible. Les animaux attaqués par certains vers parasites perdent du sang par l'intestin, d'où épuisement du fer et apparition d'anémie si l'animal n'est pas en mesure de reconstituer rapidement l'hémoglobine perdue. Dans un cas de ce genre, on mesure facilement la déperdition de fer au moyen d'un isotope radioactif le fer 59. Il est en effet simple de placer un animal dans un box protégé des sources extérieures de rayonnement, de lui faire absorber du fer 59, d'observer à intervalles successifs la décroissance de la radioactivité grâce à un compteur et d'en déduire la quantité de fer perdue.

Ainsi a-t-on pu grâce à l'emploi d'isotopes radioactifs comme traceurs apprécier au mieux la genèse et l'importance des déséquilibres minéraux observés au cours de certaines maladies animales.

- Adaptation à des milieux nouveaux :

Qu'arrive-t-il à un animal transplanté d'une région du monde dans une autre ? Le changement d'environnement ne peut-il pas exercer sur les animaux un stress qui fait baisser leur rendement.

La glande thyroïde est un indice particulièrement important du stress d'origine climatique parce qu'elle produit une hormone, la thyroxine qui intervient dans la régulation du métabolisme et la thermogénèse de l'animal. C'est dire l'intérêt de l'étude de l'activité de la thyroïde grâce à l'emploi de l'Iode 131.

La glande surrénale, qui secrète d'autres hormones, est également activée par le stress. Les hormones qu'elle secrète sont plus difficiles à marquer mais certains composés marqués au carbone radioactif peuvent, lorsqu'ils sont fournis à l'animal, être fixés par la surrénale et identifiée ensuite dans des prélèvements de sang, renseignant ainsi sur le niveau d'activité de la surrénale.

III - PROTECTION DES DENREES ALIMENTAIRES

Les denrées alimentaires sont récoltées sur de vastes étendues de la surface polluée de notre planète et constituent donc un véhicule tout trouvé pour des poisons divers. La radioactivité a montré qu'elle constituait un moyen puissant pour mettre en évidence divers types de pollution. Qu'ils soient employés comme traceurs ou qu'ils résultent de l'activation neutronique, les atomes radioactifs peuvent révéler la présence de substances dangereuses même à des concentrations extremement faibles apportant ainsi une précision supplémentaire aux résultats enregistrés par les méthodes classiques souvent beaucoup moins fines.

- Détection des produits cliniques toxiques :

Dilution isotopique : une petite quantité connue d'un pesticide marqué avec un élément radioactif est mélangée avec l'échantillon de produit alimentaire. On sépare ensuite par voie clinique le pesticide du produit alimentaire et on le purifie. Si une quantité quelconque du pesticide était déjà présente dans l'alimentation, la radioactivité sera diluée, un poids donné du produit sera d'autant moins radioactif que la contamination était plus forte. Les pesticides phosphorés et chlorés se prêtent souvent à cette technique parce que le phosphore 32 et le chlore 36 sont des indications commodes. On peut déceler les pesticides dans le lait à des concentrations d'une partie pour 1000 millions.

D'autres techniques pour la détection des produits chimiques toxiques peuvent être employées :

- dérivés à deux isotopes,

- technique de l'activation neutronique : dans celle-ci l'échantillon d'aliment est exposé à l'irradiation par des neutrons qui provoquent la formation de radio isotopes. On mesure la quantité de radio isotopes formée à partir d'une impureté éventuelle et cette quantité donne ainsi une indication de la concentration de l'impureté. La substance toxique doit contenir un élément qui forme un radio isotope identifiable par le rayonnement qu'il émet. C'est ainsi que les pesticides chlorés sont révélés par le chlore 36 radioactif qui se forme à partir du chlore stable qu'ils contiennent. Dans ce cas, on peut déceler des concentrations de pesticides de 10 parties pour 1000 millions.

Parmi les autres constituants des pesticides auxquels on peut appliquer l'activation neutronique se trouvent le mercure, le brome, le cuivre et le zinc.

- Etudes du métabolisme des pesticides :

Le marquage des pesticides au moyen de radio isotopes donne au chercheur le moyen de suivre les modalités de l'action du pesticide et le sort ultérieur du produit. On peut aussi identifier d'autres composés formés à partir du pesticide et le passage du produit à travers une chaîne alimentaire. Les recherches répondent à trois objectifs au moins :

- elle peut apparaître des parentés chimiques et écologiques qui étaient passées inaperçues,

- elles font découvrir des concentrations toxiques éventuelles dans des végétaux ou des animaux destinés à la concentration humaine,

- elles permettent d'employer les pesticides plus efficacement et plus économiquement.

- Les produits de fissions présents dans les denrées alimentaires :

Toutes les denrées alimentaires ont une radioactivité naturelles due à la présence de trace d'uranium, de tritrium, de carbone 14 et de potassium 40.

Il existe également une radioactivité artificielle accumulée au cours de plusieurs années d'essai atomiques. Il existe de plus un risque faible mais toujours présent de fuites accidentelles de produits radioactifs à partir des centrales nucléaires et autres installations atomiques.

Les substances radioactives artificielles les plus importantes pour les protections des denrées alimentaires sont les produits de fission capables de s'introduire, facilement, dans la chaîne alimentaire humaine, en particulier les formes radioactives du strontium, du cesium, du baryum et de l'iode. Ces radio éléments peuvent pénétrer dans les produits alimentaires directement par dépôt sur les cultures ou par absorption à partir du sol, ou bien indirectement lorsque du bétail broute sur un pâturage contaminé. Dans la mer, les lacs et cours d'eau, ces radio éléments ont tendance à se diluer, mais de nombreux poissons peuvent les absorber et les concentrer à nouveau. On peut donc dire que la plupart des denrées alimentaires pourraient être contaminées par la radioactivité artificielle, bien qu'il y ait des exceptions comme les graisses et les sucres qui se trouvent décontaminées par les processus ordinaires de fabrication. Aussi est-il important de surveiller constamment le risque de contamination radioactive des denrées alimentaires de façon à pouvoir, en c as de besoin, prendre les mesures qui s'imposent.

oOo

TROISIEME PARTIE - LES TECHNIQUES NUCLEAIRES ET L'IRRIGATION

- COMMENT UTILISER AU MIEUX L'EAU DISPONIBLE

Le tritium qui est l'hydrogène 3 radioactif est apparu en grandes quantités après les essais de bombe H à partir de 1954 et particulièrement en 1958-1959 et 1962-1963. Avant les bombes H, le tritium se rencontrait naturellement dans les eaux de pluies mais en quantités infimes.

Ayant les mêmes propriétés chimiques que l'hydrogène, le tritium est incorporé aux molécules d'eau. L'eau "nouvelle" provenant de la pluie tombée au cours de ces récentes années se reconnaît à sa haute teneur en tritium, décelable par les instruments nucléaires. L'eau "ancienne" qui a séjourné en profondeur pendant de longues périodes sans renouvellement rapide à partir de la surface, ne contient que de petites traces de tritium ou en est même parfois complètement dépourvue.

- Etude de la circulation des eaux souterraines :

Jusqu'ici les eaux souterraines ont été utilisées au hasard et trop souvent des puits se sont taris ou ont fourni une eau toujours plus salée.

Pour découvrir des disponibilités supplémentaires d'eaux souterraines, l'hydraulicien doit prospecter, cartographier et évaluer les eaux souterraines d'une région. Pour cela, il lui faut faire des forages et des essais depuis la surface pour déduire le volume des eaux invisibles et leur vitesse de recharge. Les isotopes sont des auxiliaires précieux de sa science complexe. Deux isotopes radioactifs, le tritium et le carbone 14 et deux isotopes stables, le denterium et l'oxygène 18 sont

employés pour ces études. Ces quatre isotopes existent dans la nature mais le tritium et le carbone 14 sont devenus plus abondants dans l'atmosphère à la suite des essais atomiques.

Ainsi lorsqu'il est passé dans le sol et se trouve isolé,le tritium se désintègre, la moitié de son activité disparaissant dans les douze ans. C'est ainsi que dans les eaux formées en 1920, il ne resterait plus que la moitié du tritium en 1932, le quart en 1944, le huitième en 1957...

Cette évolution illustre le principe de la datation fondée sur la désintégration radioactive. Dans ce cas cependant, la précision est compromise par une incertitude concernant les vitesses de formation naturelle du tritium. La vitesse de désintégration de cet élément est trop rapide pour que l'on puisse dater des masses d'eau beaucoup plus anciennes qui ont souvent une importance pratique.

A la fin, le carbone 14 naturel qui ne perd que la moitié de son activité au bout de 5700 ans, s'est montrée utile. Ce radio élément a permis notamment de montrer que la grande masse d'eau souterraine située dans le Sahara oriental s'était constituée avant la période glaciaire. Autrement dit, ces eaux ne se "rechargeaient" pas et ne pouvaient donc pas servir de base à un vaste développement à long terme de l'agriculture. Conclusion décevante mais très utile.

Pour des études locales sur la circulation des eaux souterraines, on peut ajouter à l'eau des radio isotopes artificiels servant de traceurs.

C'est ainsi que l'on peut suivre l'infiltration dans des roches perméables. On peut également déterminer la direction de l'écoulement dans un puits en injectant des traceurs dans des trous de sonde disposés en cercle autour du puits et en voyant quel est celui des trous qui permet à la radioactivité d'apparaître le plus rectement dans l'eau du puits. Les isotopes sont encore très précieux pour reconstituer les déplacements des matériaux arrachés aux terres cultivées par les eaux, transportés par des cours d'eau et déposés en aval.

- L'humidité dans le sol

Un équipement portatif fournit pour la première fois le moyen de faire n grand nombre de mesures précises de l'humidité des sols. Il ouvre ainsi la voie ux investigations systématiques sur le terrain de l'efficacité de l'emploi de l'eau.

L'appareillage comprend une source de neutrons et un détecteurs de eutrons montés dans le même logement compact. Il comprend également un dispositif our compter et visualiser les signaux émis par le détecteur de neutrons.

Principe : les neutrons émis par la source pénètrent dans le sol où ils ntrent en collision avec les atomes présents. Lorsqu'ils frappent des atomes lourds, ls rebondissent avec une très faible perte d'énergie. Lorsqu'ils frappent une masse gale à celle des neutrons, ils perdent beaucoup plus d'énergie. En conséquence, le étecteur est réglé de façon à ne signaler que les neutrons lents renvoyés par le sol. a vitesse à laquelle il est enregistre mesure la quantité d'hydrogène et donc de l'eau ui se trouve dans le sol.

Une technique analogue, employant une source de rayon gamma, peut mesurer a densité du sol, ce qui répond à d'autres besoins de l'agriculture.

L'appareil à neutrons pour la mesure de l'humidité du sol et son applica ion la plus fiable et la plus intéressante pour l'agriculture dans les mesures répétées u même point. Il est ainsi très facile d'observer les variations de l'humidité du sol onsécutifs aux variations météorologiques ou à celles de l'irrigation. En particulier, orsque le sol a été fortement maillé par des grosses pluies ou par l'irrigation, on eut déterminer la capacité de rétention d'eau du sol et par suite la limite supérieure partir de laquelle les apports supplémentaires d'eau sont sans intérêt. Lorsqu'on nnaît la capacité de rétention de l'eau, des mesures ultérieures montrant la quantité 'eau présente à tout moment permettront de calculer la quantité d'eau d'irrigation ui peut être ajoutée avec profit. Inversement, les mesures montrent le point où la aisse de l'humidité du sol devient menacante et elles peuvent être utilisées pour dé- erminer le moment d'appliquer de l'eau d'irrigation.

Des mesures comparatives faites au moyen de la sonde à neutrons en
es points différents, à des profondeurs, et à des époques variées, peuvent fournir
autres informations.

C'est ainsi qu'on peut surveiller la montée, la baisse saisonnières
s nappes phréatiques. On peut déduire la capacité de rétention de l'eau et la per-
abilité approchée de différentes couches du sol. On peut aussi observes les zones
ppauvries ou les racines des végétaux puisent l'eau du sol.

oOo

II - AVENIR DU DESSALEMENT NUCLEAIRE

Le déssalement est une technologie nouvelle dont la mise au point n'est pas encore terminée.

Il est important cependant de noter que cette technique exige des quantités substantielles d'énergie, de l'ordre de 800.000 Btu par 1000 gallons. A ce niveau d'énergie, il se peut que les réacteurs nucléaires soient compétitifs avec les usines à combustibles fossiles.

- Perspectives d'avenir : usines à deux fins :

Il est bien connu que l'association de la production d'énergie et du déssalement est avantageuse pour les deux opérations.

Dès lors on peut très bien concevoir la construction d'usines atomiques à double fins permettant l'implantation de complexes agro industriels dans des zones jusque là désertiques.

De tels complexes pourraient apporter aux pays en voie de développement non seulement un important potentiel économique mais encore l'occasion d'une mutation hardie dans les secteurs agricoles et sociaux.

oOo

CONCLUSIONS

Aussi d'une façon générale, les techniques nucléaires peuvent servir dans presque tous les secteurs de la recherche agronomique et dans maints secteurs de la production agricole.

Bien qu'il ne faille pas exagérer leur apport, il serait cependant dangereux de les ignorer.

Plus qu'une véritable révolution balayant les méthodes traditionnelles, il convient de considérer ces techniques comme de précieux appoints aux techniques existantes et qu'elles donnent une nouvelle dimension, c'est dire la nécessité :

- d'encourager les spécialistes de l'agriculture à s'initier aux techniques nucléaires de leur spécialité,

- d'une collaboration étroite entre les spécialistes des applications nucléaires et les agronomes,

- d'une volonté de communication des résultats obtenus par les chercheurs aux exploitants capables d'en tirer profit,

Il faut enfin sinsister sur l'importance des échanges internationaux : les contributions spéciales que les techniques nucléaires peuvent apporter aux sciences agronomiques doivent être mises à la portée de tous les pays non seulement les plus riches, mais encore des plus pauvres.

C'est à ce prix que les techniques nucléaires loin d'apporter mal et destruction à l'humanité, joueront le rôle qui leur revient en propre dans les efforts visant à apaiser la faim dans le monde.

BIBLIOGRAPHIE

Collections : "Etudes de base" publiée par l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture de 1961 à 1964.

1 - Le temps et la production alimentaire
OMM GENEVE

2 - Les produits alimentaires au service du progrès
FAO Rome

3 - Population et alimentation
Nations Unies New York

4 - Aspects du développement économique
Nations Unives New York

5 - Comment développer la production alimentaire par l'éducation, la recherche et la vulgarisation.
FAO Rome

6 - Possibilités d'accroître la production alimentaire mondiale
FAO Rome

7 - Troisième enquête mondiale sur l'alimentation
FAO Rome

8 - National development efforts
Nations unies New York

9 - Reconstruction agraire
FAO Rome

0 - Vers une stratégie du développement agricole
FAO Rome

Vu le Président de Thèse

Pr. SAPIN JALOUSTRE

Vu le Doyen de la Faculté

PITIE SALPETRIERE

Pr. CASTAIGNE

Vu et Permis d'imprimer

Le Recteur de l'Académie de Paris

R. MALLET